

УДК 621.791.672.61

Серенко А.Н.¹, Михайлов С.Е..², Головань Д.С.³, Дели А.А.⁴

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

В среде Delphi разработаны алгоритм и программа для расчета геометрических характеристик плоских сечений. Расчетный модуль является составной частью САПР технологии изготовления сварных конструкций.

При решении ряда задач, связанных с прочностными и деформационными расчётами сварных конструкций, возникает необходимость определения геометрических характеристик поперечных сечений конструктивных элементов.

Эти характеристики достаточно часто используются при расчёте деталей машин и стержней профильного или составного вида в основном в пределах задач изгиба. Однако, применительно к сварным конструкциям необходимость определения основных геометрических характеристик сечений (ГХС) диктуется не только в связи с оценкой несущей способности проектируемых элементов, но и в связи с изменениями их формы и размеров под воздействием процесса сварки и других технологических операций.

В частности, временные и остаточные напряжения и деформации составных элементов сварных конструкций зависят от типа материала, размеров и очертания их сечений, порядка сборочно-сварочных операций, способа закрепления деталей друг относительно друга, режима сварки и т.д.

Для выбора оптимального технологического варианта изготовления сварной конструкции необходимо иметь достаточно развитую систему автоматизированного проектирования включающую, в том числе, и модуль расчёта основных ГХС (площади поперечных сечений, статические моменты, моменты инерции и сопротивления, радиусы инерции и др.)

В настоящей статье излагается вариант компьютерного расчёта параметров ГХС с помощью инструментальных средств Delphi, позволяющих получить Windows-ориентированный интерфейс, при котором пользователь оперирует простыми и легко реализуемыми приёмами варьирования параметрами и видами сечений.

Алгоритм расчёта ГХС предусматривает использование двух подходов: традиционного [1] (путём разбиения сложного сечения на ряд простых и последующего определения всех необходимых параметров простых фигур) и нетрадиционного, основывающегося на использовании компьютерной техники [2] (задание координат точек контура всего сечения во вспомогательной системе координат с последующим обходом контура). Каждый из этих способов расчёта имеет свои достоинства и недостатки и выбор того или иного из них (или их комбинации) остаётся за пользователем.

Реальные конструктивные элементы сварных металлоконструкций могут включать в себя как стандартные профили (уголки, швеллера, двутавры и т.п.), так и нестандартные виды сечений произвольного очертания.

Рассмотрим составное поперечное сечение (рис. 1), включающее две простые фигуры (F_1 – швеллер, F_2 – полоса прямоугольного сечения) и одну фигуру сложного полого сечения (F_3).

¹ ПГТУ, канд.техн. наук, проф.

² ОАО "Азовмаш", инж.

³ ПГТУ, студент

⁴ ПГТУ, студент

Введём начальную (вспомогательную) систему координат y_0z_0 , проводя оси так, чтобы они касались крайних точек сечения (снизу – ось $0y_0$, а слева – ось $0z_0$). Предположим, что параметры сечений всех фигур известны, т.е. заданы площади (F_1, F_2, \dots, F_n), координаты центров тяжести ($y_1, z_1; y_2, z_2; \dots; y_n, z_n$), моменты инерции сечений фигур относительно собственных осей ($J_{y1}, J_{z1}; J_{y2}, J_{z2}; \dots; J_{yn}, J_{zn}$), центробежные моменты инерции ($J_{y1z1}, J_{y2z2}; \dots; J_{ynzn}$).

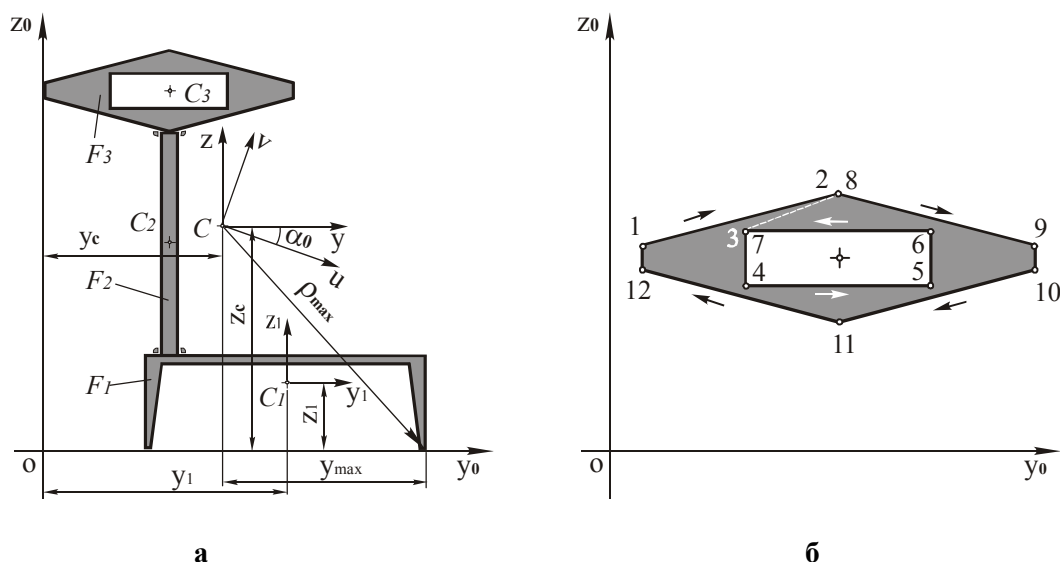


Рис. 1 - Составное сечение сварного элемента (а) и схема обхода контура полого сечения (б)

При вычислении касательных напряжений в сварных швах используются статические моменты относительно заданных осей

$$\left. \begin{aligned} S_{y0} &= F_1 z_1 + F_2 z_2 + \dots + F_n z_n = \sum_{i=1}^n F_i z_i; \\ S_{z0} &= F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n = \sum_{i=1}^n F_i y_i. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Координаты центра тяжести составной фигуры (рис. 1, а) вычислим по зависимости:

$$y_c = \frac{S_{zc}}{F}; \quad z_c = \frac{S_{yc}}{F}, \quad (2)$$

где $F = \sum_{i=1}^n F_i$ - площадь составного сечения.

Оси, проведённые через общий центр тяжести фигуры. С (Рис. 1, а) называются центральными осями. Тогда момент инерции составного сечения относительно центральных осей может быть найден как сумма моментов инерции простых фигур относительно этих же осей:

$$\left. \begin{aligned} J_y &= J_y^{(1)} + J_y^{(2)} + \dots + J_y^{(n)} = \sum_{i=1}^n J_y^{(i)}; \\ J_z &= J_z^{(1)} + J_z^{(2)} + \dots + J_z^{(n)} = \sum_{i=1}^n J_z^{(i)}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Центробежный и полярный моменты инерции определим по формулам:

$$\left. \begin{aligned} J_{yz} &= J_{yz}^{(1)} + J_{yz}^{(2)} + \dots + J_{yz}^{(n)} = \sum_{i=1}^n J_{yz}^{(i)}; \\ J_p &= J_y + J_z. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Входящие в (3, 4) моменты инерции простых фигур рассчитываются по известным зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} J_y^{(i)} &= J_{yi} + b_i^2 F_i; \\ J_z^{(i)} &= J_{zi} + a_i^2 F_i; \\ J_{yz}^{(i)} &= J_{yizi} + a_i b_i F_i. \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где a_i, b_i - расстояние между центрами тяжести составного сечения и каждой фигуры.

Эти расстояния в принятой системе координат можно выразить так (см. рис. 1,а):

$$a_i = y_i - y_c; \quad b_i = z_i - z_c \quad (6)$$

В процессе сварки конструктивных элементов сложного сечения происходит их формоизменение, за счёт внутренних сил, что приводит, в частности, к изгибу относительно главных центральных осей, которые обозначим буквами U и V. Главные оси будут повернуты относительно центральных осей $y_0 z_0$ на угол α_0 , который можно найти по зависимости:

$$\alpha_0 = 0,5 \arctg \left(\frac{2J_{yz}}{J_z - J_y} \right) \quad (7)$$

В случае если $J_z - J_y = 0$ угол α_0 принимается равным $\frac{\pi}{2}$.

Значения главных моментов инерции можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} J_u &= J_y \cos^2 \alpha_0 + J_z \sin^2 \alpha_0 - J_{yz} \sin 2\alpha_0; \\ J_v &= J_y \sin^2 \alpha_0 + J_z \cos^2 \alpha_0 - J_{yz} \sin 2\alpha_0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Отметим, что главные моменты инерции обладают свойством экстремальности.

Для выполнения прочностных и деформационных расчётов сварных элементов необходимо определять осевые и полярный момент сопротивления.

$$W_y = \frac{J_y}{z_{\max}}; \quad W_z = \frac{J_z}{y_{\max}}; \quad W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}}, \quad (9)$$

где z_{\max}, y_{\max} - координаты наиболее удалённых точек контура рассчитываемого сечения;

ρ_{\max} - наибольший радиус-вектор контура составного сечения.

В некоторых случаях определение вышеупомянутых параметров ГХС требует достаточно громоздких вычислений. Так, например, сложное сечение с внутренней полостью, изображённое на рис. 1,б пришлось бы разбивать на большое число простых фигур с последующим определением всех промежуточных величин (площадей, моментов инерции и т.д.).

Для таких видов сечений удобнее использовать метод обхода контура по точкам с заданными координатами во вспомогательной системе координат $y_0 z_0$ [2].

Нумерация точек контура начинается с любой (рис. 1,б) и перемещается вдоль контура по часовой стрелке. При наличии внутренней полости сечения необходимо войти по прямой к точке внутреннего контура и обойти все его пронумерованные точки против часовой стрелки с последующим выходом на наружный контур по той же прямой. Криволинейные очертания контура аппроксимируются ломаной линией с необходимой точностью.

Геометрические характеристики сложного сечения, при определении их через координаты точек контура, рассчитываются по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N f_i; \quad y_c = \frac{1}{6F} \sum_{i=1}^N (y_i + y_k) f_i; \quad z_c = \frac{1}{6F} \sum_{i=1}^N (z_i - z_k) f_i; \\ J_y &= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^N (z_i^2 - z_i z_k + z_k^2) f_i; \quad J_z = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^N (y_i^2 + y_i y_k + y_k^2) f_i; \\ J_{yz} &= \frac{1}{24} \sum_{i=1}^N (y_i z_k + 2y_i z_i + 2y_k z_k + y_k z_i) f_i. \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где $f_i = y_i z_k - y_k z_i$; $k = N$ при $i = 1$; $k = i - 1$ при $i > 1$;

N – число точек контура.

Все остальные параметры ГХС определяются по ранее рассмотренным соотношениям.

Как уже упоминалось ранее, разработка компьютерного модуля произведена при использовании интегральной среды Delphi, позволяющей не только облегчить создание интерфейса разрабатываемой программы, но и обеспечить связь и внедрение объектов OLE, разработку приложений различной сложности – от простых таблиц до сложных баз данных и т.п. С учётом сказанного отметим, что в модуле реализованы пути использования преимуществ таких программных продуктов как MathCAD, CorelDraw и др.

После запуска программы на экране монитора появляется рабочее окно модуля (рис. 2) с элементами управления в виде кнопок, строк ввода данных, текстовой информации и др.

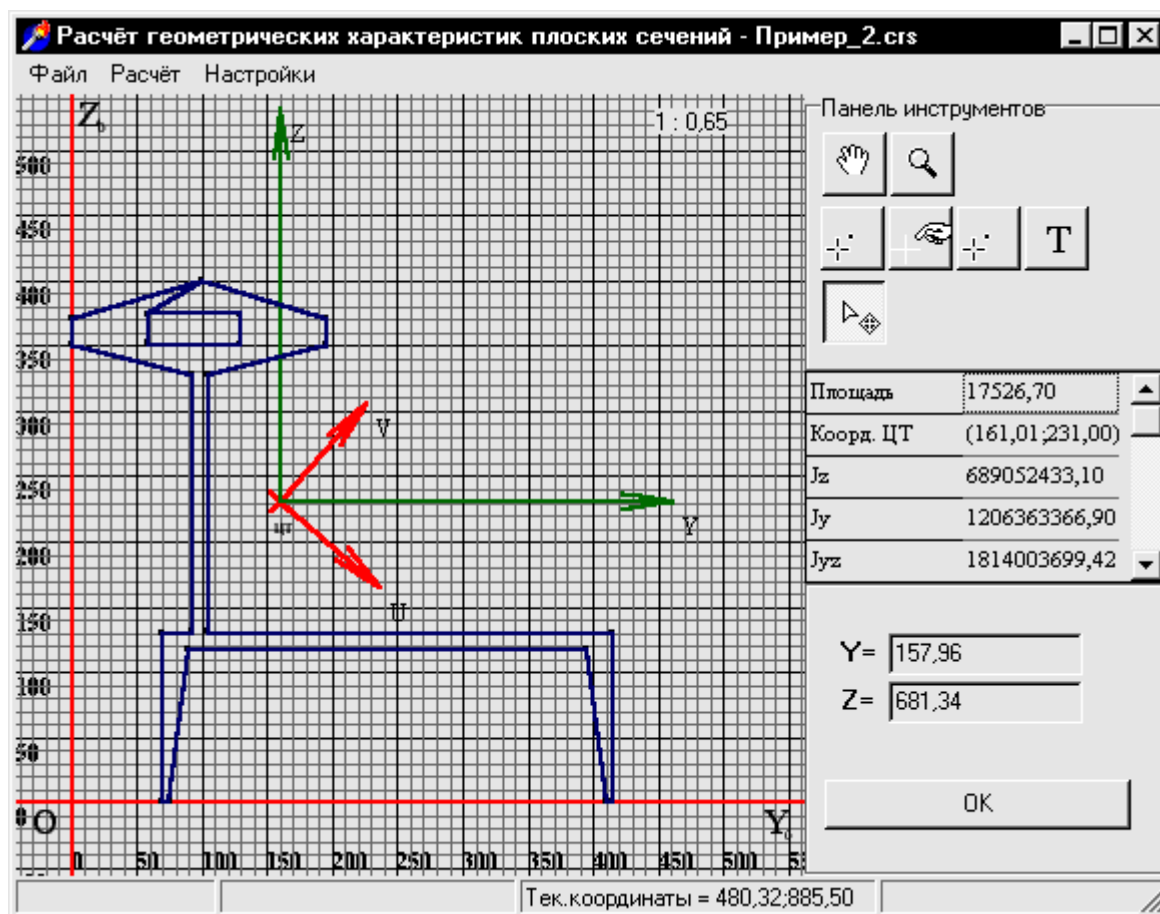


Рис. 2 - Рабочее окно модуля

На основном поле окна формируется требуемое составное сечение посредством задания контурных точек или внесения в поле готовых (стандартных) видов простых сечений. Для облегчения и ускорения работы поле имеет размерную сетку в координатных осях y_0z_0 .

Места расположения сварных швов отмечаются специальными точками, которые нумеруются в том порядке в каком швы будут выполняться. Результаты расчёта (после «нажатия» кнопки «расчёт» в строке рабочего меню) появляется в информационном поле окна.

Правильность расчетов проверяется двумя проверочными условиями:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= J_y + J_z - J_u - J_v \equiv 0; \\ P_2 &= J_{yz} \cos 2\alpha_0 + \frac{J_u - J_v}{2} \sin 2\alpha_0 \equiv 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Завершающим этапом работы модуля, поименованного как GENAS, является формирование базы данных по всем параметрам ГХС, которые затем будут использоваться в расчёте несущей способности элемента, его формоизменении, а также для оценки остаточных сварочных напряжений.

Выводы

1. Разработан компьютерный модуль GENAS, позволяющий выполнить визуальное проектирование любых типов составных сечений.
2. Модуль GENAS может быть использован как самостоятельный программный продукт, так и в качестве составной части пакета САПР технологии изготовления сварных конструкций.

Перечень ссылок

1. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наукова думка, 1975. – 704 с.
2. Сопротивление материалов. Решение задач с применением ЭВМ и элементов САПР: Учеб. пособие для техн. вузов / А.Н.Мелекесцев, В.Ю.Бутенко, Н.И.Голенко и др. Под ред. А.И. Мелекесцева. – Харьков: Изд-во “Основа” при Харьк.ун-те, 1991. – 160 с.

Серенко Александр Никитич. Канд. техн. наук, проф. кафедры «Оборудование и технология сварочного производства», окончил Алтайский политехнический институт в 1959 г. Основные направления научных исследований – совершенствование принципов оценки работоспособности сварных соединений и конструкций; оценка напряженного состояния сварных соединений и деталей с покрытиями; изучение процессов при сварке с программированием режима.

Михайлов Сергей Евгеньевич. Аспирант кафедры оборудования и технологии сварочного производства, инж. ОАО «Азовмаш», окончил Приазовский государственный технический университет в 2000 году. Основное направление научных исследований - разработка САПР технологии изготовления сварных конструкций.

Головань Денис Сергеевич. Студент гр. Бсв-98-01, занимается научной работой по использованию компьютерных технологий в области сварки.

Дели Александр Анатольевич. Студент гр. Бсв-98-01, занимается научной работой по использованию компьютерных технологий в области сварки.